

УДК 551.582.2:551.510.52

## ОСОБЕННОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

*К.М. Шанталинский*

### Аннотация

На основе последних данных мониторинга изменений в полях метеорологических величин в тропосфере за последние 60 лет с использованием методов корреляционного, спектрального анализа и цифровой фильтрации временных рядов исследована динамика климатических изменений в различных регионах северного полушария. Установлены характерные особенности и величины климатических изменений (прежде всего температуры воздуха) в различных частях полушария. Выявлена зависимость этих изменений от широтной зоны, типа подстилающей поверхности и сезона.

**Ключевые слова:** климат, изменения климата, температура воздуха, облачность, атмосферная циркуляция.

---

Климат Земли постоянно изменяется. Однако в последние десятилетия влияние изменений климата на естественные и социально-экономические системы ощущается все заметнее. Это усиливает внимание к проблеме изменения климата не только со стороны специалистов, но и широкой общественности, включая круги, принимающие политические решения. Значимыми примерами такого внимания может служить рассмотрение вопросов о сокращении энергопотребления и выброса парниковых газов в атмосферу на саммитах «большой восьмерки» и Азиатско-тихоокеанского экономического сотрудничества, а также присуждение Нобелевской премии мира 2007 г. группе международных экспертов (МГЭИК) за исследования в области антропогенного воздействия на климат.

Наиболее заметной, но не единственной особенностью изменения климата в последнее столетие является его потепление. Современные оценки показывают [1], что средняя годовая глобальная температура приземного слоя воздуха за последние 100 лет увеличилась на  $0.6 \pm 0.2$  °C. Установлено также, что потепление за этот период не было постоянным. Потепление продолжалось с начала XX века до сороковых годов, затем до семидесятых наблюдалось небольшое похолодание, и, наконец, с середины 1970-х годов по настоящее время отмечается более интенсивное потепление.

Однозначно и окончательно причины современного глобального потепления не установлены. Выдвинуты несколько гипотез, объясняющих последние изменения климата, однако наиболее широко обсуждаются две версии причин происходящего потепления: антропогенная (повышение температуры за счет быстрого увеличения концентрации парниковых газов) и естественная. Первую

точку зрения разделяет, в частности, МГЭИК, подготовившая не один доклад по этой проблеме [2].

Сторонники естественных причин современного глобального потепления [3], полагая, что колебания климата являются следствием нелинейных реакций климатической системы на квазипериодические внешние воздействия, указывают на то, что период интенсивного роста глобальной температуры наблюдавшийся в 90-е годы XX столетия, приходится на восходящую ветвь 60-летнего колебания, которое было выявлено в термических и циркуляционных характеристиках атмосферы. Главенствующая роль парникового эффекта подвергается сомнению авторами [4], которые на основе результатов палеоклиматических данных за последние 400 тысяч лет показывают, что в прошлом изменения температуры воздуха всегда упреждали изменения концентрации парниковых газов. Кроме того, существуют результаты исследований [5], показывающие, что области Земли, где наблюдается значительное понижение общего содержания озона, соответствуют регионам с потеплением климата. Предполагается, что это может быть следствием волнового тропосферно-стратосферного взаимодействия.

Таким образом, поскольку отсутствует единая точка зрения на причины современного потепления, то являются весьма полезными эмпирико-статистические оценки пространственно-временной изменчивости метеорологических полей, выяснение региональных особенностей проявления изменений климата на основе данных глобального мониторинга климатической системы. Определенные результаты в этом направлении были получены коллективом кафедры метеорологии, климатологии и экологии Казанского государственного университета [6–9]. Настоящая работа есть результат продолжения исследований в этом направлении.

*Целью работы* является определение количественных характеристик региональных особенностей климатических изменений в полях температуры, облачности и компонент скорости ветра северного полушария за последние десятилетия, а также выявление зависимости указанных изменений от широты, типа подстилающей поверхности и времени года.

*Информационной базой исследования* послужили данные NCEP/NCAR реанализа температуры воздуха, общего количества облачности, давления, приведенного к уровню моря, зональной и меридиональной составляющих скорости ветра в тропо-стратосфере северного полушария за последние 60 лет (1948–2007 гг.) [10], а также данные приземной температуры воздуха северного полушария (1850–2007 гг.) университета Восточной Англии [11].

Использовались средние месячные значения реанализа метеорологических величин для приземных данных в узлах регулярной географической сетки Гаусса (шаг сетки около  $1.9^\circ$  широты на  $1.9^\circ$  долготы), для атмосферного давления и данных на изобарических поверхностях узлы сетки имеют шаг, равный  $2.5^\circ$  широты на  $2.5^\circ$  долготы. Поля средней месячной приземной температуры воздуха северного полушария университета Восточной Англии расположены в узлах сетки с шагом  $5^\circ$  широты на  $5^\circ$  долготы.

Сравнение многолетней динамики временных рядов приземной температуры воздуха для двух используемых массивов данных показало, что при наличии некоторых расхождений по величине ход температуры в районах, хорошо

освещенных метеорологическими данными, сходный. Однако в районах полушария, где имеются существенные пропуски в данных или где однородность температурных рядов нарушалась, к результатам, полученным по данным NCEP/NCAR реанализа, следует относиться с осторожностью.

На всем полушарии и в трех широтных зонах (приполярной – от полюса до  $65^\circ$  широты; умеренной – от  $65^\circ$  до  $30^\circ$  широты и тропической – от  $30^\circ$  широты до экватора), каждая из которых характеризуется особым термическим и циркуляционным режимом, были выделены регионы по типу подстилающей поверхности (суша или океан). Кроме того, и полушарие, и каждая широтная зона (за исключением приполярной) дополнительно были поделены на более мелкие регионы по принадлежности к конкретному материку (Америка, Евразия, Африка) или океану (Атлантический, Тихий, Индийский). Таким образом, всего на полушарии были выделены 27 регионов, по каждому из которых было произведено осреднение исследуемых метеорологических величин.

Динамика долгопериодных изменений в полях метеорологических величин выявлялась методом цифровой фильтрации, для чего использовался низкочастотный (НЧ) фильтр Поттера [12] с точкой отсечения 10 лет, то есть из исходного временного ряда отфильтровывались все колебания с периодом менее 10 лет. Использование указанного метода фильтрации связано с тем, что фильтр Поттера не дает существенных искажений фазы колебаний в сглаженном ряду по сравнению с исходным. Кроме того, результат фильтрации близок к результатам, получаемым с помощью широко используемого в климатологии сглаживания временных рядов скользящим осреднением (в данном случае 11-летним), но лучше по качеству фильтрации (рис. 1).

Коэффициент линейной корреляции между низкочастотными компонентами временных рядов на полушарии в выделенных регионах и узлах поля исследуемой метеорологической величины использовался для оценки степени схождения динамики климатических изменений в отдельных частях полушария и на полушарии в целом.

Для оценки вклада выявленных долгопериодных колебаний исследуемых величин в каждом узле в общую дисперсию использовалась процедура интегрирования соответствующего участка спектра.

Рассмотрим особенности изменения приземной температуры воздуха за период с 1850 по 2007 гг. (данные университета Восточной Англии) и более детально с 1948 по 2007 гг. (данные NCEP/NCAR реанализа).

Большинство исследователей аппроксимируют в основном изменения температуры на тех или иных временных участках линейным трендом, оценивая таким образом интегральный эффект изменения температуры на исследуемом отрезке времени. Анализ сглаженных НЧ-фильтром Поттера рядов показывает, что за последние более чем 150 лет инструментальных наблюдений при общем весьма существенном, но достаточно неравномерном росте средней годовой температуры северного полушария имели место и периоды ее понижения (рис. 2).

Первое похолодание за указанный период наблюдалось с 1877 по 1911 гг. и составило  $0.23^\circ\text{C}$  за 34 года; второе – с 1940 по 1972 гг. и составило  $0.17^\circ\text{C}$  за 32 года. После похолоданий следовали более интенсивные потепления. Первое

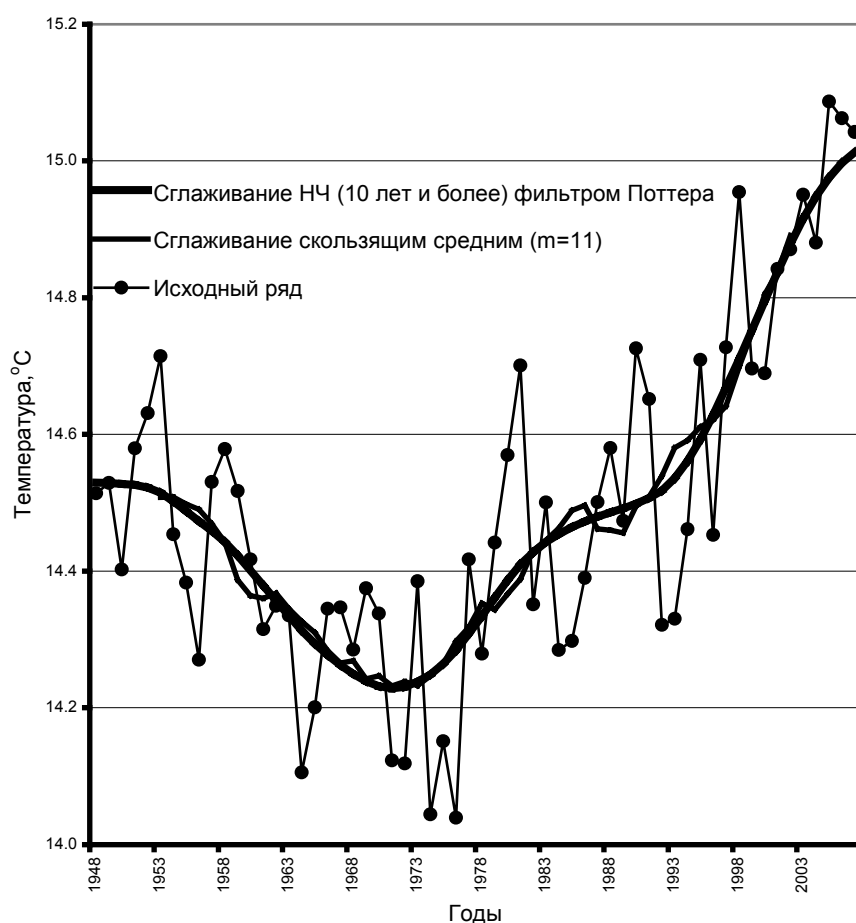


Рис. 1. Многолетний ход средней годовой приземной температуры воздуха северного полушария ( $^{\circ}\text{C}$ ), сглаженный 11-летним скользящим осреднением и НЧ-фильтром Поттера (полоса пропускания 10 лет и более).

имело место с 1911 по 1940 гг., в результате среднегодовая температура северного полушария возросла на  $0.51^{\circ}\text{C}$  за 29 лет; второе – с 1972 по 2007 гг. и, судя по ходу кривой интенсивности потепления, еще не завершилось. Тем не менее оно продолжается уже 35 лет, а величина повышения температуры за этот период составила  $0.70^{\circ}\text{C}$ .

Обращает на себя внимание факт уменьшения со временем интенсивности похолоданий с  $-0.07$  до  $-0.05^{\circ}\text{C}/10$  лет и увеличения интенсивности потеплений с  $0.18$  до  $0.20^{\circ}\text{C}/10$  лет. Отчетливо проявляется в ходе средней годовой приземной температуры воздуха северного полушария 60–70-летнее колебание, которое уже упоминалось выше, а также более слабое 20-летнее, проявляющее себя в периоды похолоданий.

Вполне вероятно, что наряду с естественными причинами изменения температуры имеет место и антропогенное влияние. Таким образом, при сохранении ансамбля выявленных колебаний температуры в ближайшем будущем можно

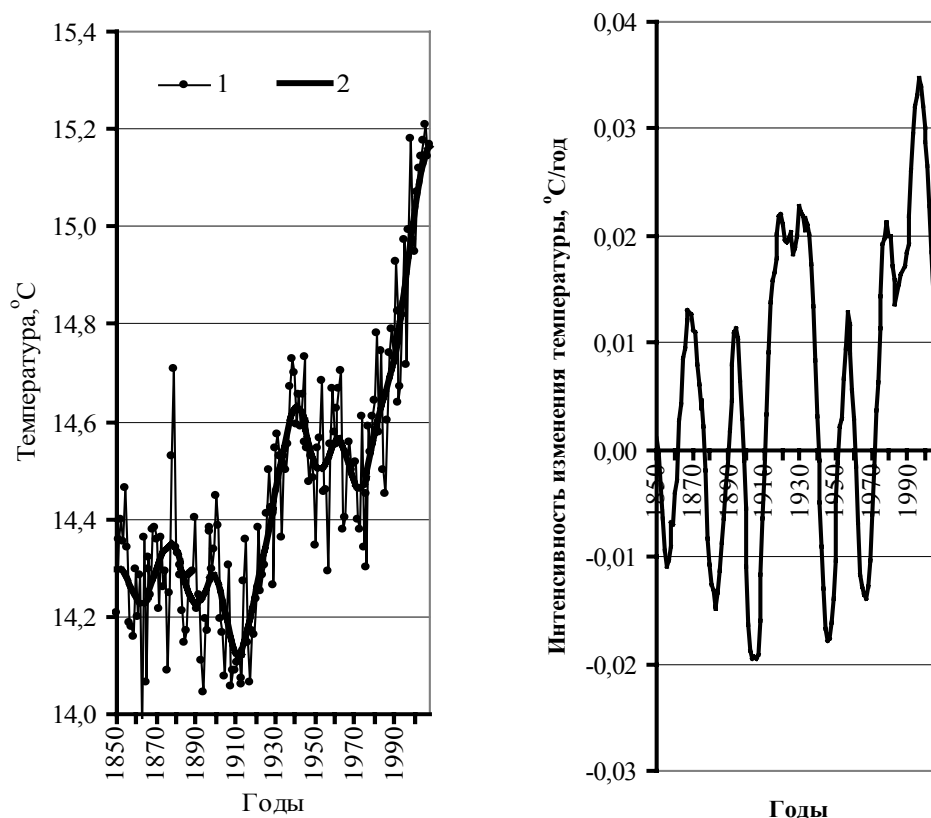


Рис. 2. Многолетний ход средней годовой приземной температуры воздуха северного полушария ( $^{\circ}\text{C}$ ) (1), сглаженный НЧ-фильтром Поттера (полоса пропускания 10 лет и более) (2) и интенсивности ее изменения ( $^{\circ}\text{C}/\text{год}$ )

ожидать некоторого снижения темпов потепления, которое уже намечилось, и даже возможно слабого похолодания на фоне уже достигнутых высоких значений.

В табл. 1 приведены характеристики изменения температуры воздуха в различных регионах северного полушария по данным реанализа. Поскольку похолодание началось несколько ранее, чем показывают имеющиеся данные реанализа, и, как уже указывалось, в период похолодания наблюдаются колебания более короткого периода, то характеристики похолодания в табл. 1 несколько отличаются от полученных по данным университета Восточной Англии.

Из табл. 1 следует, что наиболее резко процессы изменения температуры выражены в приполярной зоне полушария, где похолодание, составившее  $-0.54^{\circ}\text{C}$  за 13 лет, сменилось потеплением, которое продолжается уже 41 год и к настоящему времени составило  $2.36^{\circ}\text{C}$ . В умеренной зоне интенсивности последнего потепления климата и предшествующего ему похолодания весьма близки и составляют  $+0.24$  и  $-0.28^{\circ}\text{C}/10$  лет соответственно. В результате за последние 34 года температура повысилась на  $0.81^{\circ}\text{C}$ , что почти в 3 раза меньше, чем в приполярной зоне. Наименьшие изменения средней годовой приземной

Табл. 1

Характеристики современного потепления и предшествующего ему похолодания в различных регионах северного полушария

Регион	Похолодание			Потепление		
	Продолжительность, годы	Величина, °C	Интенсивность, °C/10 лет	Продолжительность, годы	Величина, °C	Интенсивность, °C/10 лет
Северное полушарие в целом	23	-0.30	-0.13	36	0.78	0.22
Полярная зона	13	-0.54	-0.42	41	2.36	0.57
Умеренная зона	25	-0.71	-0.28	34	0.81	0.24
Тропическая зона	12	-0.06	-0.05	36	0.50	0.14
Северное полушарие – суша	24	-0.64	-0.27	35	0.94	0.27
Америка	18	-0.58	-0.32	35	0.95	0.27
Евразия	24	-0.94	-0.39	35	1.06	0.30
Африка	24	-0.13	-0.05	32	0.62	0.19
Умеренная зона – суша	24	-1.00	-0.42	35	1.07	0.31
Умеренная зона – Америка	22	-0.85	-0.39	33	0.93	0.28
Умеренная зона – Евразия	24	-1.11	-0.46	35	1.16	0.33
Тропическая зона – суша	22	-0.20	-0.09	33	0.57	0.17
Тропическая зона – Америка	10	-0.14	-0.14	39	0.41	0.11
Тропическая зона – Евразия	22	-0.43	-0.20	33	0.59	0.18
Тропическая зона – Африка	23	-0.12	-0.05	32	0.63	0.20
Северное полушарие – океан	15	-0.12	-0.08	37	0.69	0.19
Атлантический	20	-0.24	-0.12	35	0.68	0.19
Тихий	13	-0.12	-0.09	34	0.39	0.11
Индийский	8	-0.07	-0.08	51	0.83	0.16
Умеренная зона – океан	26	-0.40	-0.15	32	0.54	0.17
Умеренная зона – Атлантический	20	-0.44	-0.22	35	0.77	0.22
Умеренная зона – Тихий	29	-0.42	-0.14	28	0.37	0.13
Тропическая зона – океан	10	-0.03	-0.03	36	0.48	0.13
Тропическая зона – Атлантический	11	-0.05	-0.05	35	0.58	0.17
Тропическая зона – Тихий	11	-0.08	-0.08	36	0.42	0.12
Тропическая зона – Индийский	8	-0.07	-0.08	51	0.83	0.16

температуры воздуха наблюдаются в тропической зоне, где за последние 36 лет температура повысилась на 0.50 °C.

Обращает на себя внимание также резкое ослабление роста приземной температуры воздуха в период с 1983 по 1994 гг., которое прослеживается практически во всех регионах полушария. Оно вызвано уменьшением прозрачности атмосферы в связи с поступлением в атмосферу большого количества продуктов извержений вулканов Эль-Чичон и Пинатубо [13, 14]. В результате уменьшение роста температуры отмечается во всей тропосфере, а в стратосфере

Табл. 2

Характеристики современного потепления и предшествующего ему похолодания в некоторых регионах северного полушария зимой и летом

Регион	Похолодание			Потепление		
	Продолжительность, годы	Величина, °C	Интенсивность, °C/10 лет	Продолжительность, годы	Величина, °C	Интенсивность, °C/10 лет
Зима (декабрь – февраль)						
Северное полушарие в целом	13	–0.35	–0.27	36	0.96	0.27
Полярная зона	8	–0.32	–0.40	40	2.93	0.73
Умеренная зона	23	–0.92	–0.40	35	1.14	0.32
Тропическая зона	14	–0.16	–0.11	34	0.50	0.15
Северное полушарие – суша	23	–0.75	–0.33	35	1.21	0.35
Северное полушарие – океан	12	–0.14	–0.12	36	0.81	0.22
Лето (июнь – август)						
Северное полушарие в целом	24	–0.31	–0.13	35	0.60	0.17
Полярная зона	14	–0.59	–0.42	38	0.80	0.21
Умеренная зона	26	–0.73	–0.28	33	0.66	0.20
Тропическая зона	7	–0.02	–0.02	52	0.56	0.11
Северное полушарие – суша	26	–0.67	–0.26	33	0.84	0.26
Северное полушарие – океан	20	–0.10	–0.05	36	0.45	0.12

вследствие поглощения солнечной радиации продуктами извержения имеет место значительный рост температуры.

В зимний сезон (декабрь – февраль) величина потепления существенно больше, чем в летний (июнь – август) за исключением тропической зоны, где, впрочем, период потепления летом начался намного раньше. Интенсивность же потепления больше в зимний сезон во всех регионах (табл. 2).

Над термически более инерционной подстилающей поверхностью – океаном – изменения температуры выражены слабее, чем над сушей, где наибольшие изменения имеют место в умеренной зоне Евразии. Здесь похолодание за 24 года составило 1.11 °C, а потепление за 35 лет – 1.16 °C. Наименьшие изменения температурного режима над сушей наблюдаются в тропической зоне Америки, которая представляет собой узкую полосу суши между океанами. В результате чего долгопериодные колебания приземной температуры здесь невелики. Похолодание за короткий период 10 лет составило 0.14 °C, а современное потепление, длящееся 39 лет, – 0.41 °C. Над океанической поверхностью наиболее активные температурные изменения происходят в Индийском океане, где потепление продолжается 51 год и составило 0.83 °C.

С высотой значение величины современного потепления в среднем убывает. Так, если для полушария у поверхности земли она в среднем составила 0.78 °C за 36 последних лет, то на уровне изобарической поверхности 500 гПа

(средняя высота около 5.5 км) температура за этот же период времени повысилась на 0.65 °C. Наибольшие различия между величинами потепления у поверхности и в средней тропосфере наблюдаются в приполярной зоне (2.36 и 0.92 °C соответственно), а наименьшие – в умеренной и тропической (разности составили 0.2 и 0.1 °C). Тип подстилающей поверхности также не сильно влияет на разность между величинами повышения температуры у Земли и в средней тропосфере, над сушей она – около 0.2 °C, над океанической поверхностью – 0.1 °C.

Установленное понижение роста температуры в средней тропосфере по сравнению с приземным связано, в частности, с тем, что под влиянием вулканических выбросов с середины 1980-х до середины 1990-х годов в тропосфере наблюдалось слабое понижение температуры, а не ослабление ее роста как у поверхности Земли.

Таким образом, наиболее длительные периоды потепления за последние 60 лет наблюдаются в приполярной и тропической зонах, но в приполярной потепление намного сильнее. В этих широтных зонах потепление существенно превосходит предшествующее похолодание. В умеренных широтах, где наблюдается интенсивный макротурбулентный межширотный обмен, различия между величинами последнего потепления и предшествующего похолодания минимальны.

Расчет коэффициентов линейной корреляции между рядами сглаженных значений температуры в каждом узле географической сетки и средними по всему полушарию позволил выявить области, в которых ход температуры близок к среднему, и области, в которых он существенно отличается от среднего (рис. 3).

Максимальные значения коэффициентов корреляции, а значит, наибольшее сходство хода сглаженных кривых средней годовой приземной температуры воздуха в конкретной точке и средней по полушарию, представленной на рис. 1, наблюдаются, как правило, над океанической поверхностью (восточная часть Атлантики и Средиземного моря, западная Тихого океана, значительная часть Арктики, район Карибского моря и Мексиканского залива и др.), а также над некоторыми континентальными районами (районы Прибайкалья, Великих Озер, северо-запад Канады и Аляска и др.). Одновременно значительная часть полушария характеризуется изменениями температуры, не сходными со средним (восточная часть Тихого океана, значительная часть Северной Америки, северная Африка, юг Евразии, районы к западу и югу от Гренландии, горные области Евразии и т. д.). Например, район между южной оконечностью Гренландии и Лабрадором характеризуется постоянным понижением средней годовой температуры до 1990-х годов, а затем быстрым ростом, что существенно отличается от средней картины по полушарию. В то же время относительно недалеко на восточном побережье Гренландии ход изменения температуры весьма похож на средний по полушарию.

Однако, несмотря на все разнообразие изменений температуры в различных регионах северного полушария, в большинстве из них наблюдается рост температуры начиная с 90-х годов XX столетия.



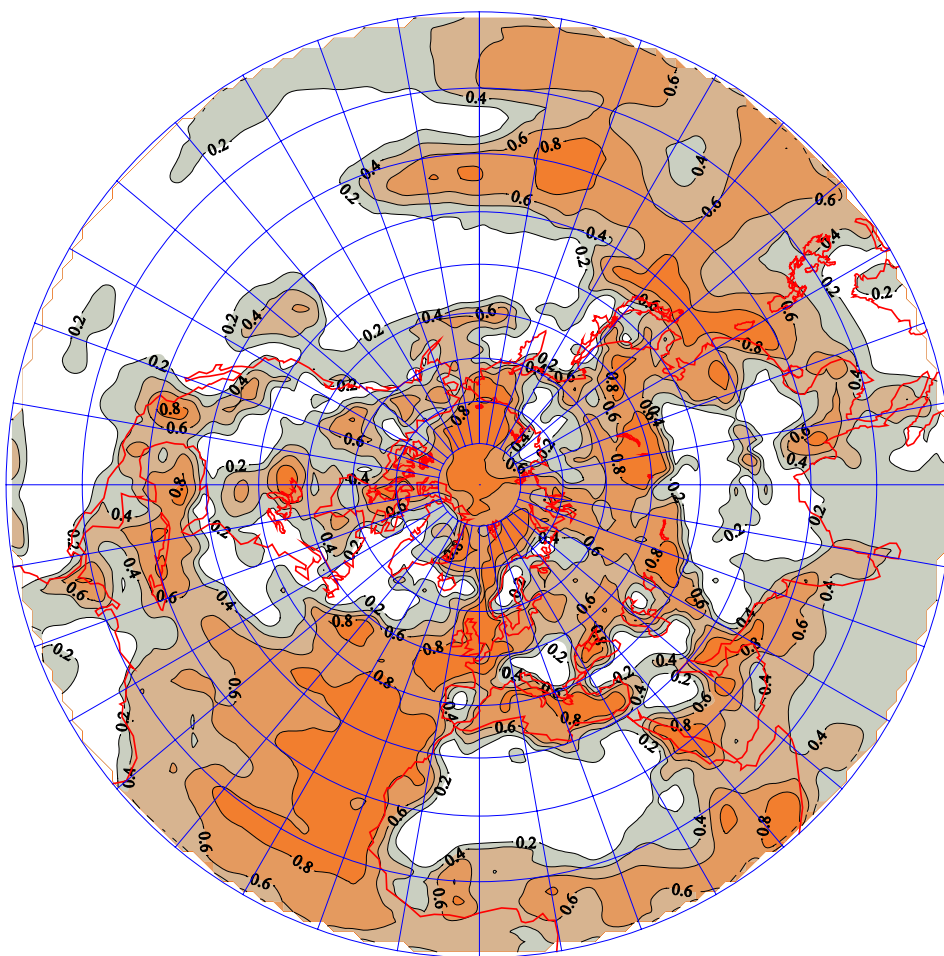


Рис. 3. Пространственное распределение коэффициента линейной корреляции между данными НЧ-компоненты средней годовой приземной температуры воздуха с периодом 10 лет и более в узлах сетки и средними по северному полушарию

Наблюдающееся преобладающее повышение температуры приводит к увеличению испарения с подстилающей поверхности, что должно способствовать процессам образования облачности. Однако облака являются регулятором радиационных потоков в атмосфере, и сами по-разному в разных широтных зонах и в различные сезоны года влияют на изменение температуры. Сложность взаимовлияния температуры и облачности усугубляется изменениями циркуляционного режима.

За исследуемый период 1948–2007 гг. в северном полушарии количество общей облачности (процент покрытия небосклона облаками всех ярусов) в основном уменьшалось. Однако с начала 90-х годов XX столетия наблюдается процесс увеличения количества облачности (КО) над океанами и некоторой стабилизации его понижения над сушей. Эти изменения невелики. Над океанической поверхностью полушария среднее годовое КО сначала (1948–1989 гг.) уменьшилось на 3%, а затем возросло на 1%. Над сушей в период 1948–2007 гг.

уменьшение составило 4%, но далее роста КО не последовало, а имеет место лишь ослабление уменьшения. В период 1989–2007 гг. среднее годовое КО над сушей уменьшилось менее чем на 0.5%.

Указанный характер динамики КО наблюдался в основном за счет вклада холодного периода, в то время как летом происходили несколько иные изменения КО. Это выражается прежде всего в том, что в это время года изменения среднего годового КО над сушей сдвинуты по фазе приблизительно на 8 лет вперед по сравнению с процессами над океанами. Можно предположить, что обнаруженное несовпадение объясняется более медленной реакцией облачности над сушей, чем над океанами на повышение температуры в условиях менее активного зонального переноса в летний период.

Динамика КО в разных широтных зонах имеет свои особенности. Так, если на фоне общего понижения во внетропических широтах происходило увеличение КО в 1960–1970-е годы, наиболее ярко проявившееся в приполярной зоне и сменившееся уменьшением, продолжавшимся до начала 1990-х годов, то в тропической зоне с конца 1950-х до 1980-х годов происходило уменьшение КО, которое в летний сезон продолжалось еще дольше, до начала 1990-х годов, и только с этого момента начался рост КО.

Влияние типа подстилающей поверхности и характера циркуляции на изменение КО в умеренной и тропической зонах выразилось в том, что в умеренной зоне зимой в условиях активного макротурбулентного обмена в западно-восточном переносе изменения КО над сушей и океанами происходили синхронно. Летом, когда западно-восточный перенос ослаблен, синхронность нарушается. Особенно это заметно в период потепления, начавшегося с конца 1990-х годов, когда изменения КО над сушей и океанами умеренных широт носили противофазный характер. В тропической зоне, наоборот, изменения КО летом носят синхронный характер, а зимой с конца 1990-х годов КО над океанами увеличивается, а над сушей уменьшается. Это можно объяснить тем, что летом в тропиках при увеличении облачности над океанами вследствие увеличения испарения в условиях летней муссонной циркуляции облачность переносится на материк. Зимой муссонная циркуляция направлена с суши на океан, а увеличение температуры над сушей лишь удаляет воздух от состояния насыщения, что вызывает противофазный ход изменения облачности.

Как уже было сказано, в последнее время температура повышается большими темпами в приполярной зоне, поэтому со временем уменьшается разность температур между полюсом и экватором, что отражается на характере горизонтальных движений в тропосфере. Установлено, что разности температур между тропической и приполярной зонами северного полушария убывают с середины 60-х годов XX века. Следует отметить, что с середины 1970-х годов уменьшение разностей прекратилось, а затем сменилось даже некоторым возрастанием, но с конца 1980-х годов до настоящего времени температурные разности средних годовых температур между тропическими широтами и приполярными уменьшаются со средней скоростью 0.8 °C/10 лет. Наибольший вклад в подобное изменение разностей вносит зимний сезон, однако с конца 1990-х годов уменьшение разностей между температурами тропических и приполярных широт наблюдается и летом.

При ослаблении температурного контраста между полюсом и экватором следовало бы ожидать уменьшения интенсивности западно-восточного переноса в умеренных широтах, но сложность взаимовлияния изменений температуры и циркуляции, определенная автономность поведения центров действия атмосферы в различные сезоны года определяют довольно сложный ход зональной циркуляции.

Наиболее активные изменения зональной компоненты скорости ветра (ЗКСВ) происходят в приполярной зоне, где зимой в течение всего исследуемого периода при наличии заметных колебаний происходит ее уменьшение. Летом в этом регионе северного полушария в период с начала 1960-х и до середины 1990-х годов наблюдалось увеличение ЗКСВ, а далее и до настоящего времени в период наиболее активного потепления имеет место довольно быстрое ее уменьшение. Интенсивность уменьшения ЗКСВ в этот период составляет около 1 м/с за 10 лет.

В умеренных широтах зимой с середины 1960-х и до начала 1990-х годов ЗКСВ возросла приблизительно на 0.8 м/с. Далее в ходе ЗКСВ наблюдаются колебания с периодом около 15 лет и амплитудой 0.2 м/с. Эти колебания проявляют себя над сушей и Атлантическим океаном, в то время как на Тихом океаном в последние десятилетия отмечается устойчивый рост ЗКСВ. Летом в умеренных широтах в связи с уменьшением контраста между основными центрами действия атмосферы в последние десятилетия происходит ослабление западно-восточного переноса. Следует отметить значительное сходство изменений ЗКСВ в нижней (изобарическая поверхность 850 гПа) и средней тропосфере (поверхность 500 гПа) внетропических широт, особенно в зимний период.

В тропической зоне зимой в нижней тропосфере преобладают восточные потоки, а в средней – западные, летом же восточные потоки преобладают во всей тропосфере. Зимой в нижней тропосфере до середины 1960-х годов восточные потоки ослабевали, а далее возрастали и увеличиваются по настоящее время; в средней тропосфере западные потоки увеличивались до конца 1970-х годов, а затем величина уменьшения скорости западно-восточного переноса составила 1 м/с за 30 лет. Летом изменения ЗКСВ в тропической зоне в нижней и средней тропосфере с середины 1960-х годов носят противофазный характер. До конца 1970-х годов восточные потоки в нижней тропосфере слабо возрастали, а в средней – убывали, далее изменения ЗКСВ в нижней и средней тропосфере противоположны, но интенсивность изменений больше.

### Выводы

На фоне уменьшения со временем интенсивности похолоданий и увеличения интенсивности потеплений, а также отчетливого проявления в ходе средней годовой приземной температуры воздуха северного полушария 60–70-летнего колебания определено наличие более слабого 20-летнего колебания, проявляющего себя в периоды похолоданий. Это позволяет в ближайшем будущем ожидать некоторого снижения темпов потепления и даже, возможно, слабого похолодания на фоне уже достигнутых высоких значений.

Установлено, что за последние 34 года температура умеренных широт повысилась на 0.81 °С, что почти в 3 раза меньше, чем в приполярной зоне, а

наименьшие изменения средней годовой приземной температуры воздуха наблюдаются в тропиках, где за последние 36 лет температура повысилась на  $0.50^{\circ}\text{C}$ , причем над океанической поверхностью изменения температуры выражены существенно слабее, чем над сушей.

Определены величины современного потепления в тропосфере. Показано, что если в среднем для полушария у поверхности Земли потепление составило  $0.78^{\circ}\text{C}$  за 36 последних лет, то на уровне изобарической поверхности 500 гПа (средняя высота около 5.5 км) температура за этот же период времени повысилась на  $0.65^{\circ}\text{C}$ , причем наибольшие различия между величиной потепления у поверхности Земли и в средней тропосфере наблюдаются в приполярной зоне ( $2.36$  и  $0.92^{\circ}\text{C}$  соответственно), а наименьшие – в умеренной и тропической (разности составили  $0.2$  и  $0.1^{\circ}\text{C}$ ).

Проведенное исследование показало, что в исследуемом периоде (1948–2007 гг.) в северном полушарии преобладало уменьшение количества общей облачности, которое с начала 90-х годов XX столетия сменилось увеличением количества облачности над океанами и некоторой стабилизацией его понижения над сушей, что может быть объяснено большим поступлением в атмосферу водяного пара в условиях потепления.

Установлено также что, зимой в течение всего исследуемого периода в приполярной зоне зональная компонента скорости ветра уменьшается. В то время как летом в этом регионе уменьшение происходит лишь с середины 1990-х годов и до настоящего времени, то есть в период наиболее активного потепления. В умеренных широтах зимой над Тихим океаном в последние десятилетия отмечается устойчивое усиление зональной циркуляции. Летом же в умеренных широтах в связи с уменьшением контраста между основными центрами действия атмосферы в последние десятилетия происходит ослабление западно-восточного переноса.

### Summary

*K.M. Shantalinsky. Particularities of Northern Hemisphere Regional Climate Change.*

Dynamics of climate change in different regions of Northern hemisphere was investigated on the basis of latest monitoring of data on meteorological value change in troposphere for the last 60 years using correlation, spectral and digital filtering methods.

Specific features and values of climatic changes (primarily in air temperature) in different parts of hemisphere were established. Dependence of those changes on latitude, underlying surface pattern and season was revealed.

**Key words:** climate, climate change, air temperature, cloudiness, atmospheric circulation.

### Литература

1. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Колебания и изменения климата на территории России // Изв. РАН. ФАО. – 2003. – Т. 39, № 2. – С. 166–185.
2. Technical Summary. // Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds.). – Cambridge, United Kingdom; New York, USA: Cambridge Univ. Press, 2007. – 91 p.

3. Даценко Н.М., Монин А.С., Берестов А.А., Иващенко Н.Н., Сонечкин Д.М. О колебаниях глобального климата за последние 150 лет // Докл. РАН. – 2004. – Т. 399, № 2. – С. 253–256.
4. Вакуленко Н.В., Котляков В.М., Монин А.С., Сонечкин Д.М. Доказательства упреждения изменений концентрации парниковых газов вариациями температуры в данных станции «Восток» // Докл. РАН. – 2004. – Т. 396, № 5. – С. 686–690.
5. Жадин Е.А. Озон и изменения приземной температуры // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 10. – С. 64–73.
6. Переведенцев Ю.П., Верецагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. Особенности проявления современного потепления климата в тропосфере Атлантико-Европейского региона // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 2. – С. 38–47.
7. Переведенцев Ю.П., Верецагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Николаев А.А. Современные изменения климата Северного полушария Земли // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2005. – Т. 147, кн. 1. – С. 90–106.
8. Переведенцев Ю.П., Верецагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Николаев А.А. Региональные проявления современного потепления климата в тропосфере Северного полушария // Изв. РАН. Сер. географ. – 2005. – № 6. – С. 5–17.
9. Переведенцев Ю.П., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Гоголь Ф.В. Динамика полей температуры Северного полушария в современный период // Проблемы анализа риска. – 2007. – Т. 4, № 1. – С. 73–82.
10. Kalnay et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1996. – V. 77. – P. 437–470.
11. Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., Tett S.F.B., Jones P.D. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850 // J. Geophysical Res. – 2006. – V. 111. – D12106, doi:10.1029/2005JD006548.
12. Отнес Р.К., Энуксон Л. Прикладной анализ временных рядов. – М.: Мир, 1982. – 428 с.
13. Kelly P.M., Jones P.D., Jia Pengqun. The spatial response of the climate system to explosive volcanic eruptions // Internat. J. Climatol. – 1996. – V. 16, No 5. – P. 537–550.
14. Parker D.E., Wilson H., Jones P.D., Christy J.R., Folland C.K. The impact of Mount Pinatubo on world-wide temperatures // Internat. J. Climatol. – 1996. – V. 16, No 5. – P. 487–497.

Поступила в редакцию  
24.04.08

---

**Шанталинский Константин Михайлович** – кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского государственного университета.

E-mail: *Konstantin.Shantalinsky@ksu.ru*